27 Untersuchungen an Humusprofilen im Schönbuch

Ulrich Babel, Ulrike Meyer, Sibylle Pfeiffer

Zusammenfassung

Es wurden an zwei Laubwaldflächen („Schlagbaumlinde", PA, und „Bärloch", PB) und einer Fichtenfläche („Birnbaum", PC) die Humusprofile qualitativ und quantitativ an Anschliffen und Dünnschliffen untersucht. Die Profile an den beiden Laubwaldflächen waren grundsätzlich ähnlich. Die Streu bleibt ein bis eineinhalb Jahre an der Bodenoberfläche liegen (Tab. 27.1), dann wird sie von Regenwürmern maximal 30 mm tief in den Mineralboden eingemischt (FAhh-Horizont, Abschnitt 2), wo sie bis zum vollständigen morphologischen Verschwinden noch einige Monate liegt (Tab. 27.2). Kleine Unterschiede in der Humusprofilausbildung der beiden Flächen lassen sich auf Standortsunterschiede zurückführen. Die leicht nach Südost geneigte reine Buchenfläche PB liefert etwas nährstoffärmere Streu (C/N, Tab. 27.7), die etwas stärker durch Weißfäule zersetzt wird. Sie ist auch durch zeitweise Trockenheit an der Bodenoberfläche und stärkere Mineralisierung der organischen Substanz (Tab. 27.5) infolge höherer Temperaturen (Tab. 27.6) für Regenwürmer (Tab. 27.4) ungünstiger.

In der Fichtenfläche PC liegen die Nadeln etwa doppelt so lange an der Bodenoberfläche (zwei bis drei Jahre, Tab. 27.3), dann werden sie von Dipterenlarven und Regenwürmern allmählich zerkleinert (F-Horizont); das zerkleinerte Material wird schließlich noch flachgründiger als in den Laubwaldflächen mit mineralischem Material vermischt (HAhh-Horizont) und dort und im eigentlichen Mineralboden (BvAh) in stärkerem Umfang als in den Laubwaldflächen von Enchyträen weiter verarbeitet.

Die Humusprofile der zwei Laubwaldflächen sind Mull; PA steht einem flachgründigen Wurmmull nahe, PB hat eine Tendenz zum Weißfäulemull. Auf der Fichtenfläche ist es ein Mull im Übergang zu einem durch große straminicole Regenwürmer geprägten Moder.

Humus profiles in deciduous forest and spruce stands in the Schönbuch Nature Park

Abstract

In Schönbuch Nature Park humus profiles were investigated at two sites with deciduous trees (Schlagbaumlinde, area PA, and Bärloch, area PB) and at one site with spruce („Birnbaum", area PC). The humus profiles were studied qualitatively and quantitatively in polished blocks and thin sections. Litter in profiles from areas PA and PB remains 1–1 1/2 years on the soil surface (Table 27.1) before being mixed into the mineral soil by earthworms to depths of up to 30 mm (FAhh horizon, section 2); there it stays for several more months before it morphologically disappears (Table 27.2). Small differences between humus profiles PA and PB are caused by ecological differences between the two sites. The pure beech stand (PB), which is situated on a gentle, southeastern slope, produces litter somewhat poorer in mineral nutrients (C/N, Table 27.7) that is slightly more decomposed by white rot. The PB area also is less favourable to earthworms (Table 27.4) due to temporary droughts at the soil surface and to faster mineralization of organic matter (Table 27.5), which results from the prevailing higher temperature (Table 27.6).

In the spruce area (PC), the needles remain about twice as long on the soil surface (2–3 years, Table 27.3) before being gradually comminuted by Diptera larvae and earthworms (F horizon). Finally, the comminuted material is blended with mineral material, but less deeply than in the deciduous areas (HAhh horizon); it is then further consumed by Enchytraeid worms to a higher degree than in the deciduous stands.

The humus profiles in the two deciduous forest sites consist of mull; PA is nearly a shallow worm mull, PB is more akin to a white rot mull. The spruce area contains a mull in transition to an earthworm moder, which is characterized by large straminicole earthworms.

Inhalt

1 Einleitung

Waldstandorte lassen sich unter anderem durch ihre Humusprofile, die obersten durch Organismen und organische Substanz wesentlich geprägten Abschnitte der Bodenprofile, charakterisieren. Die morphologische Ausbildung der Humusprofile läßt wesentliche Effekte der Tier- und Mikroorganismentätigkeit erkennen. Da die letzteren von den Standortsbedingungen abhängen, läßt sich aus der Morphologie der Humusprofile auf Organismentätigkeit und Standortsbedingungen schließen, wie umgekehrt die Morphologie aus jenen verstanden werden kann.

Von aktuellem Interesse ist die Humusprofilausbildung auch deshalb, weil hier Immissionen aus der Atmosphäre (außer auf die Pflanzendecke) am ehesten auftreffen und u. U. zu Änderungen in den Prozessen, also auch in der Morphologie der Profile führen.

Die systematischen Einheiten, nach denen Humusprofile geordnet werden, sind die Humusformen. Die Arbeit will zur Kenntnis und zum Verständnis der Humusformen mit kaum verzögerter Streuverarbeitung einen kleinen Beitrag geben.

Es werden Ergebnisse von drei Untersuchungsflächen, welche auch in anderen Teilen des Schönbuchprojekts bearbeitet werden, mitgeteilt und diskutiert. Die allgemeinen Standortsangaben und die Bodenprofilbeschreibungen finden sich in den Beiträgen 8 und 15 dieses Bandes. Hier werden die folgenden Angaben gemacht:

PA: Schlagbaumlinde, Buchen-Eichen-Baumholz. 450 m N.N.; horizontale Lage; Pelosol-Parabraunerde; Ton des Knollenmergel (km5) mit Lößbeimengung im Oberboden.

PB: Bärloch, Buchen-Baumholz. 495 m N.N.; leicht nach Südost geneigt; Pseudogley; Fließerde aus Schluffstein und Ton des Lias α und Lößlehm.

PC: Birnbaum, Fichten-Baumholz. 520 m N.N.; horizontale Lage; Braunerde-Parabraunerde; Verwitterungsdecke aus Sandsteinen des Stubensandstein (km4) mit Ton-Zwischenlagen.

Die Diskussionen zu den Einzelergebnissen werden in Abschnitt 2 und 3 gegeben und in Abschnitt 4 zu Gesamtdarstellungen der drei Humusprofile zusammengefaßt.

2 Humusprofilbeschreibungen

Von den drei in der Einleitung angegebenen Flächen wurden Humusprofilbeschreibungen im Gelände und nach Dünnschliffen angefertigt.

2.1 Methoden

Es wurden von der Oberfläche des L-Horizontes ab 0–8 cm tiefe Proben in Kubienakästen (4 × 6 × 8 cm) genommen und so alle Horizonte des Humusprofils einschließlich des obersten Teiles des Übergangshorizontes zum humusarmen Mineralboden erfaßt. Die Proben wurden nach Lufttrocknung in Polyesterharz getränkt und anschließend Dünnschliffe 8 cm tief, 6 cm breit hergestellt. Diese wurden unter Stereomikroskop (8 × -50 ×) und Mikroskop (Objektiv 4 × und 10 ×) untersucht. Je Fläche wurden vier bis fünf Dünnschliffe von verschiedenen Probenahmestellen und Daten (April 1981, November 1981, April 1982) verwendet.

Die Horizontnomenklatur folgt für die Humusprofilhorizonte BABEL (1971).

Die Beschreibung des Aufbaus der Horizonte unterscheidet feste *Grundeinheiten* (soweit bei den benutzten Vergrößerungen erkennbar), feinteiliges Grundmaterial und Hohlräume einerseits - sie werden links aufgelistet - und *höhere Einheiten* aus ihnen - sie werden rechts aufgelistet. Die Linien von den Grundeinheiten zu den höheren Einheiten bezeichnen den Aufbau der letzteren aus den ersten (Vereinfachung des Vorschlags von BABEL 1978). Es folgen ergänzende Gefügeangaben.

Die Prozentzahlen sind geschätzt und ergeben für feste Grundeinheiten und für höhere Einheiten jeweils die Summe der Festsubstanz. Die Prozentzahlen für Hohlräume sind bezogen auf die Gesamtfläche (das Gesamtvolumen) des Horizonts; sie gelten für die bei der gegebenen Methodik erkennbaren Hohlraumgrößen: >(10-)20 µm. In Einzelfällen, vor allem bei den Wurzeln in PA und PB, wurde auch nach BABEL (1972) in fünfstufiger Schätzskala geschätzt, weil jene bei geringen Anteilen sicherer ist: h 1: nur nach Suchen zu finden, h 2: leicht zu finden, h 3: Bild des Schliffs mengenmäßig mitbestimmend.

Für die Nomenklatur der Grundeinheiten gilt in Anlehnung an BABEL (1975): Organreste: Teile >200 µm, meist aus mehreren Geweben bestehend; Gewebereste: Teile 20 bis 200 µm, meist nur aus einem Gewebe bestehend; organisches Feinmaterial: Teile <20 µm; organo-mineralisches Material: überwiegend mineralische Substanz (Ton-Schluff-Sand), das durch organisches Pigment, d. h. mikroskopisch nicht in Partikeln erkennbare organische Substanz gefärbt ist; mineralisches Material: hier wurde nicht weiter gegliedert (außer der Sondererwähnung von Rostflecken und Konkretionen), auch können sehr geringe Mengen von organischem Pigment, das sich kaum färbend auswirkt, enthalten sein.

2.2 Ergebnisse

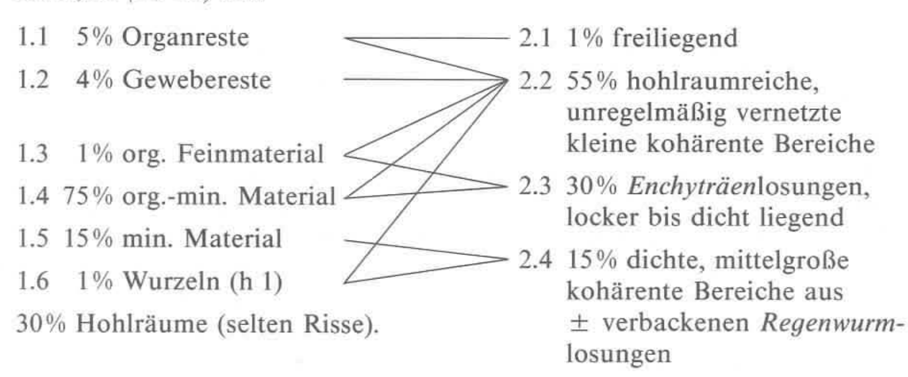
PA („Schlagbaumlinde", Buche-Eiche)

L, ca. 30 mm (im Schliff gepreßt)

1.1 Organreste, v. a. Blattreste, in diesen mittlere Mengen von Calciumoxalat (h 2–3); Blattbleichung mäßig häufig (h 2).

Übergang zum FAhh mäßig scharf.

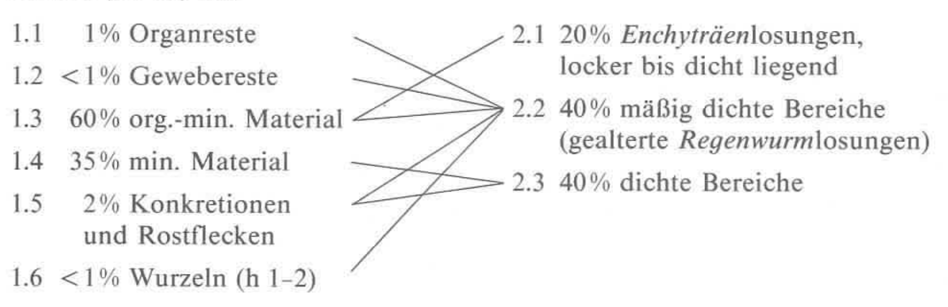
FAhh, 20 (15–25) mm



Bem.: Das obere Drittel des Horizonts ist oft viel hohlraumreicher und auch reicher an Organ- und Geweberesten als der Rest des Horizonts. Die Beschreibung gibt Mittelwerte für den ganzen Horizont.

1.1 und 1.2 sind oft etwas gehäuft und meist wirr orientiert (mit nur schwach horizontaler Vorzugsrichtung); in 2.2 selten Aggregate ca. 1 × 2 mm: gealterte (*Dipteren*larven- oder) *Regenwurm*losungen. 2.2 und 2.3 mit Übergängen ineinander; 2.2, 2.3 und 2.4 ergeben im ganzen eine cm-fleckige Verteilung. Übergang mäßig unscharf.

Ahh, 25 (20–30) mm



15% Hohlräume (selten Risse).
Bem.: 2.1, 2.2 und 2.3 teils ineinander übergehend, in schwach fleckiger Verteilung.
Übergang zum AhBgv scharf bis unscharf, fleckig.

AhBgv, (in den Dünnschliffen die oberen 35 mm)

1.1 30% (org.) min. Material —— 2.1 30% *Enchyträen*losungen, locker bis dicht liegend
1.2 65% min. Material
1.3 5% Konkretionen und Rostflecken
1.4 <1% Wurzeln (h 1)
2.2 70% dichte Bereiche
2.3 freiliegend (zwischen 2.1)

7% Hohlräume, oft Zwickelhohlräume (verformt aus Interaggregathohlräumen zwischen *Regenwurm*losungen), selten Risse.
Bem.: 2.1 und 2.2 diffus ineinander übergehend. - Einzelne *Regenwurm*gänge, verfüllt mit 2.1-Ahh und 2.2-Ahh.

PB („Bärloch", Buche-Eiche)

L, ca. 30 mm (im Schliff gepreßt)

wie PA außer: mehr Calciumoxalat (h 3-4) und mehr Blattbleichung (h 2-3) in den Blattresten.
Übergang zum (F) bzw. zum FAhh mäßig scharf.

(F), 6 (3-15) mm, stellenweise (in cm-Bereichen auf 1/3 der Fläche)

1.1 50% Organreste, v.a. Blattreste —— 2.1 40% freiliegend bis lockere Pakete
1.2 50% Gewebereste
1.3 0-3% Mineralkörner
1.4 1% Wurzeln (h 1)
2.2 35% ei-zylindrische Aggregate 1,2 × 0,5 mm (*Dipterenlarvenlosungen*)
2.3 25% kleine hohlraumreiche Bereiche

Bem.: 1.1 überwiegend horizontal orientiert; 1.2 ohne Vorzugsorientierung.
Übergang zum FAhh scharf.

FAhh, 11 (3-19) mm

wie PA außer: mehr Wurzeln (3%, h 2-3), ca. halb soviel *Enchyträen*losungen, etwa doppelt soviel dichte Bereiche, Flecken und Schlieren (durch Regenwurmtätigkeit) stärker. Übergang zum Ah unscharf.

Ah, 20 (5-40) mm

wie der Ahh von PA außer: weniger organische Substanz im organo-mineralischen Material; mehr mineralisches Material (55%); mehr Wurzeln (3%, h 3).
Übergang zum AhBgv scharf bis unscharf, fleckig.

AhBgv, (in den Dünnschliffen die oberen 30–60 mm)

wie PA außer: mehr Wurzeln (1%, h 2); mehr Hohlräume (12%); deutlichere Bereiche mit Schwammgefüge (aus verbackenen *Regenwurm*losungen).

PC („Birnbaum", Fichte)

L, 10 (6–13) mm



1.1 95% Organreste, v.a. Nadelreste — 2.1 95% freiliegend

1.2 2% Gewebereste — 2.2 4% wie 2.2-F-Horizont

1.3 3% org. Feinmaterial — 2.3 1% *Oribatiden*losungen

mäßig scharfer Übergang.

F, 8 (3–15) mm

1.1 50% Organreste, s.u. — 2.1 50% freiliegend

1.2 15% kleine Gewebereste — 2.2 48% *Dipterenlarven-* (und *Regenwurm-*) Losungen: 0,3 × 0,8 mm-Aggregate

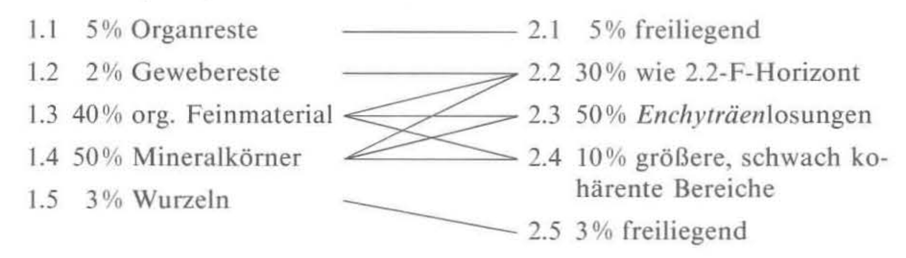
1.3 30% org. Feinsubstanz

1.4 5% Mineralkörner — 2.3 2% *Enchyträen*losungen

1.5 <1% Wurzeln

50% Hohlräume.
Bem.: 1.1 meist Nadelreste, Querschnitte meist erhalten, scharfer bis gleitender Übergang.

HAhh, 10 (5–13) mm



1.1 5% Organreste — 2.1 5% freiliegend

1.2 2% Gewebereste — 2.2 30% wie 2.2-F-Horizont

1.3 40% org. Feinmaterial — 2.3 50% *Enchyträen*losungen

1.4 50% Mineralkörner — 2.4 10% größere, schwach kohärente Bereiche

1.5 3% Wurzeln — 2.5 3% freiliegend

50% Hohlräume.
gleitender Übergang.

BvAh (in den Dünnschliffen die oberen 45 mm)

1.1 5% org. Feinmaterial	2.1 45% *Enchyträen*losungen
1.2 90% org.-min. Material	2.2 50% kohärente Bereiche (oft verdichtete *Regenwurm*losungen)
1.3 5% Wurzeln	2.3 5% freiliegend

40% Hohlräume (mäßig selten Risse).
Bem.: 1.2 mit wechselnden Anteilen organischer Substanz, Bereiche mit größeren Anteilen und dann mehr *Enchyträen*losungen sind in cm-großen Flecken diffus verteilt.

2.3 Diskussion und anschließende Fragen

1. Die Ergebnisse zeigen, daß PA und PB zur Humusform Mull gehören und starke direkte Spuren von Regenwurmtätigkeit aufweisen. PC nimmt eine Zwischenstellung zwischen Mull und Moder ein, indem ein HAhh-Horizont ausgebildet ist, ein Horizont also, der nach Definition auf der Grenze zwischen Humusauflage und Mineralboden steht.
2. Die Unterschiede zwischen PA und PB sind gering, aber in einigen Merkmalen doch deutlich. PB hat einen geringmächtigen (F)-Horizont, einen geringermächtigen FAhh als PA, einen humusärmeren Ah (nicht Ahh): leicht verzögerte und weniger tiefe Einmischung von Streu in den Mineralboden oder (auch) raschere Mineralisierung der organischen Substanz? PB hat weiterhin erheblich mehr Feinwurzeln und bei etwa gleichstarken Spuren von Regenwurmtätigkeit weniger Enchyträenlosungen: häufigere Trockenperioden im oberflächennächsten Bodenbereich?
3. Wie kommt in PC der Zwischenhorizont HAhh mit etwa 50 Vol.% organischer Substanz zustande? Durch Einwaschung organischen Feinmaterials aus dem F oder durch Vermischungstätigkeit von Makro- und Megafauna, insbesondere Regenwürmern? (Daß eine dritte Möglichkeit, sehr hohe Wurzelproduktion, nicht realisiert ist, zeigt die mikromorphologische Beschreibung.) Wie steht das Humusprofil PC zum mullartigen Moder (v. ZEZSCHWITZ 1976), in dem ein „filmartiger" (1 bis 2 mm mächtiger) H-Horizont auftreten soll?

Weitere Details der mikromorphologischen Ergebnisse werden in Teil 4 diskutiert. Dort wird auch im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Teil 3 auf die aufgeworfenen Fragen eingegangen.

3 Quantitative Untersuchungen

3.1 Blatt- und Nadelschichtenzahl in der Auflage

Fragen: Geschwindigkeit der mechanischen Streuverarbeitung in ihrem ersten, am leichtesten zugänglichen und daher am häufigsten betrachteten Teil.
Methode: Herstellung von Anschliffen 6 × 8 cm aus denselben Proben, die auch zur Dünnschliffherstellung verwendet wurden (siehe Abschnitt 2 – Methoden). Je sechs Anschliffe an drei aufeinanderfolgenden Terminen. Erfaßt wurden Blätter, die noch nicht in organo-mineralisches oder mineralisches Material eingeschlossen sind.
Schnittpunktzählung: Schnittpunkte vertikaler Testlinien mit den ± horizontal liegenden Blattresten. Stereomikroskop 25 ×. Weiteres siehe BABEL und CHRISTMANN (1983).
Ergebnisse bringt Tab. 27.1.
Diskussion: Tab. 27.1 zeigt für PA und PB gleiche Werte, und zwar im Frühjahr gerade einen Streujahrgang. (Die Blattschichtenzahl von einem Streujahrgang wurde im Buchenbestand B1 des Sollings von HELLER (1971) zu 5,9 bestimmt; orientierende Untersuchungen von uns ergaben in beiden Flächen etwa 6.) Unter Fichte entspricht die Nadelschichtenzahl im Frühjahr etwa zwei Jahrgängen. (BABEL, 1972, gibt 3,5 Nadelschichten pro Jahrgang an; dieser Wert ist aber um einen Faktor 0,6 zu verringern, denn das Verhältnis von Nadelumfang zu horizontaler Nadelprojektion ist nur in sehr grober Näherung 2, wie dort angenommen. Es wurde von uns im vertikalen Dünnschliff von PC im L-Horizont zu 3.2 bestimmt.)

Auffallend ist, daß in allen drei Beständen die Herbstwerte recht genau um einen Streujahrgang höher liegen als die Frühjahrswerte. Das bedeutet, daß während des ziemlich trockenen Sommers 1981 kaum Streu mechanisch verarbeitet wurde, während des kalten, aber schneereichen Winters 1981/82 (in Herrenberg

Tab. 27.1. Blatt- und Nadelschichtenzahl in der Humusauflage; Schnittpunktzählung mit vertikalen Testlinien an Anschliffen; n = 6.

Tab. 27.1. Number of leaf and needle layers in the humus cover; intersection countings with vertical test lines on polished blocks; n = 6.

Datum	PA		PB		PC	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
April 81	6,6	3,5	6,0	2,1	4,2	1,7
November 81	13,0	8,5	14,6	4,7	6,0	0,7
April 82	6,0	2,7	6,4	4,9	3,8	1,1

78 Tage mit Schneedecke) jedoch ein ganzer Jahrgang, und zwar in den Laubwäldern weitgehend der Jahrgang 1980, der den Sommer 1981 noch überdauert hatte.

3.2 Blattreste im FAhh-Horizont

Fragen: Weitere Verfolgung der von der Oberfläche verschwundenen Streu; Charakterisierung des für viele Mull-Profile typischen (diagnostischen?) FAhh-Horizonts.

Methoden: Anschliffe wie in 3.1. Erfaßt wurden Blattreste, deren Schnittprofile an der Anschliffoberfläche länger als 150 µm waren, und zwar in den Tiefen: 0 bis 4, 13 bis 17 und 26 bis 30 mm unter Mineralbodenoberfläche. In größerer Tiefe traten keine durch die Methodik erfaßbaren Blattreste mehr auf.

Längenmessung der Blattschnittprofile mit halbautomatischem Bildanalysegerät, Stereomikroskop 25 ×. Umrechnung von Länge B_A in der Anschlifffläche auf Fläche S_V im Bodenvolumen nach

$$S_V = \frac{4}{\pi} \cdot B_A .$$

Details siehe BABEL und CHRISTMANN (1983).

Ergebnisse bringt Tab. 27.2.

Diskussion: In PA sind mehr Blätter (ausgedrückt als Blattfläche) in die oberen mm des Bodens eingemischt als in PB. (Die für 0 bis 4 und 13 bis 17 mm durchgehend positiven Differenzen sind für 0 bis 4 mm im April 1981 und im April 1982 nach Rangsummentest nach WILCOXON gesichert.) Offenbar werden in PA entweder a) mehr Blattstücke der erfaßten Größen in den Mineralboden eingemischt als in PB, oder b) sie werden dort weniger rasch zersetzt oder c) beides. Nach den in PA und PB sehr gleichartigen Blattschichtenzahl-Verläufen (3.1) ist Möglichkeit b) wahrscheinlicher. - Bemerkenswert ist, daß keine großen (keine gesicherten) Differenzen zwischen Frühjahr und Spätherbst gefunden wurden: Die Einmischungsrate war 1981 bis 1982 im Sommer und Winter etwa gleich groß, oder sie verläuft mindestens im Jahresgang etwa parallel zur Weiterverarbeitung der Blattreste.

Zum Vergleich mit den im L liegenden Blattresten läßt sich überschlägig die Blattschichtenzahl im Mineralboden berechnen: Im Mittel der drei Probenahmedaten ist in PA die Blattfläche von 0 bis 4 mm 4,1 cm^2/cm^3, von 13 bis 17 mm 1,2, von 26 bis 30 mm 0,4. Der Mittelwert über die Gesamttiefe von 30 mm, in der im FAhh Blattreste auftreten, dürfte bei etwa 1,5 cm^2/cm^3 liegen; das entspricht etwa 4,5 Blattschichten, also 3/4 eines Streujahrgangs oder 3/4 bis 3/8 der Blattmenge (Blattfläche), die frei auf der Mineralbodenoberfläche liegt. Die entsprechenden Zahlen in PB sind etwa halb so groß.

Eine andere Überschlagsrechnung ergibt, wie hoch der Gewichts-Anteil am Boden und an der organischen Bodensubstanz ist: Bei im Mittel 1,5 cm^2 Blatt pro

Tab. 27.2. Blattreste im FAhh-Horizont (Abschnitt 3.2). Halbautomatische Längenmessung der Schnittprofile an Anschliffen, umgerechnet auf Blattfläche im Bodenvolumen; n = 6, cm^2/cm^3.

Tab. 27.2. Leaf residues in FAhh horizon (Section 3.2). Semi-automatic measurement of their profile length B_A on polished blocks, calculated into leaf surface per soil volume S_V; n = 6, cm^2/cm^3.

Datum	Tiefe (mm)	PA $\bar{x}$	PA s	PB $\bar{x}$	PB s
April 81	0–4	4,42	1,90	2,10	1,00
	13–17	1,07	1,08	0,51	0,79
	26–30	0,36	0,47	0,44	0,42
November 81	0–4	2,98	0,90	2,42	2,06
	13–17	1,72	1,36	0,66	0,34
	26–30	0,51	0,48	0,28	0,19
April 82	0–4	4,75	2,72	1,72	1,38
	13–17	0,71	0,71	0,49	0,82
	26–30	0,29	0,35	0,35	0,57

Mittelwerte über die drei Termine in Vol.%
Mean values of the three dates, Vol.%

	Tiefe (mm)	PA	PB
	0–4	3,5	1,8
	13–17	0,8	0,4
	26–30	0,3	0,2

1 cm^3 Boden in PA und bei geschätzt 4 mg/cm^2 des eingemischten Blatts (der Hälfte des für den L-Horizont zu 8 mg/cm^2 bestimmten Wertes) und Raumgewicht des Bodens 0,8 g/cm^3 sind das 0,75% des Bodengewichts oder bei 17 Gewichtsprozent organischer Substanz (Abschnitt 3.7) etwa 5% der organischen Substanz.

3.3 Nadelreste im HAhh-Horizont

Fragen: Vergleichszahlen zu den Mullprofilen PA und PB. Quantifizierung der nur durch Tiere möglichen Einmischung von oberirdischen Pflanzenresten in den Zwischenhorizont HAhh, der diesem Profil die Stellung zwischen Mull und Moder gibt.

Methode: Anschliffe wie in 3.1. Es wurden nur zwei Tiefenstufen unterschieden; unterhalb von 8 mm traten keine Nadelreste mehr auf. Eine Unterteilung der Nadelreste (gut erhalten und in Epidermis oder Assimilationsparenchym strukturell teilzersetzt) wurde vorgenommen, führte aber zu statistisch nicht absicherbaren, weil zu geringen Zahlenumfängen.

Tab. 27.3. Nadelreste im HAhh-Horizont (Abschnitt 3.3). Punktzählung an Anschliffen; n = 6, Volum-%.

Tab. 27.3. Needle residues in HAhh horizon (Section 3.3). Point countings on polished blocks; n = 6, Vol.%

Datum	Tiefe (mm)	$\bar{x}$ (%)	s
April 81	0–4	2,14	2,19
	4–8	0,27	0,89
November 81	0–4	1,75	1,69
	4–8	0,17	0,64
April 82	0–4	2,93	3,14
	4–8	0,23	0,82

Punktzählung mit Strichgitter 10 × 10, Stereomikroskop 25 × .
Ergebnisse bringt Tab. 27.3.
Diskussion: Die Tabelle zeigt, daß in 0 bis 4 mm Tiefe die Volumenanteile von Nadelresten in der gleichen Größenordnung liegen wie die der Blattreste bei den Laubwaldprofilen. Das ist ein Hinweis auf relativ starke, in einem regulären Moder sicher nicht auftretende Einmischung durch Tiere. Sie reicht allerdings im Gegensatz zu den Laubwaldprofilen nicht tiefer als 8 mm. Auch sind die Werte in PC, wenn man sie in Nadelschichten umrechnet, wesentlich geringer als die Blattschicht-Zahlen in PA und PB: Nur 0,2 Nadelschichten oder (vgl. 3.1) 1/10 Nadeljahrgang befinden sich im Mineralboden (Umrechnung mit der mittleren vertikalen Nadeldicke in der Auflage, die in Dünnschliffen von PC zu 0,44 mm bestimmt und wegen leichter Schrumpfung auf 0,5 mm korrigiert wurde).

3.4 Regenwurm-Abundanzen und -Arten

Fragen: Regenwürmer sind die wichtigsten Agentien für das Verschwinden der Streu von der Bodenoberfläche (Abschnitt 3.1) und ihre Einmischung in den Mineralboden (Abschnitte 3.2 und 3.3).
Methode: Als orientierende Untersuchung wurden 1984 an drei Terminen (11. 5., 14. 6., 18. 10.) Regenwürmer mit der Formaldehydmethode (Raw 1957) extrahiert und Individuenzahlen, Biomassen und, soweit möglich, Arten bestimmt. An jedem Termin wurden an jeder Untersuchungsfläche vier Teilflächen von je 0,5 × 0,5 m^2 untersucht.

Als *Ergebnisse* werden nur die Mittelwerte über die drei Termine mitgeteilt (Tab. 27.4).
Diskussion: Auffallend ist, daß *Lumbricus rubellus* an allen Flächen mindestens 88% der Individuen stellt. (Allerdings war diese Art mit der angewandten Metho-

Tab. 27.4. Regenwurm-Abundanzen und -Biomassen (Formaldehydmethode); Mittelwerte aus drei Terminen mit je vier Teilflächen 0,5 × 0,5 m².

Tab. 27.4. Earthworm abundance and biomass (extraction by formaldehyd); mean values from three dates with four investigation areas of 0,5 × 0,5 m² each.

		PA	PB	PC
		Individuen pro m²		
Lumbricus terrestris	adult	0,3	0,3	
	juv. (1)			
Lumbricus rubellus	adult	9,3	1,3	5,3
	juv. (1)	9,3	3,3	5,0
Dendrobaena octaedra	adult			0,3
	juv. (1)			
Allolobophora caliginosa	adult		0,3	0,3
	juv. (1)			
Allolobophora rosea	adult	0,3		
	juv. (1)			
Octolasium lacteum	adult	0,3		
	juv. (1)	0,3		
Summe		20	5,3	11
(davon *L. rub.*)		(18,7)	(4,7)	(10,3)
Biomasse (g/m²)				
Summe		18,0	6,1	8,3

(1): Die Artbestimmungen an den juvenilen Tieren waren zum Teil unsicher

dik auch am leichtesten zu erfassen.) Von allen anderen fünf Arten sind nur im ganzen ein bis zwei Individuen gefunden worden; Unterschiede in ihrem Auftreten können also nicht diskutiert werden.

Als Rangfolge der Regenwurmabundanzen PA-PC-PB wäre nach dem Profilaufbau eher PA-PB-PC erwartet worden. Es überraschen aber eher die niedrigen Werte von PB als die hohen von PC. In PB hatten die recht starke Blatteinmischung in den Mineralboden (Ausbildung eines FAhh), die Fleckigkeit, die schlierigen Strukturen und die Zwickelhohlräume im FAhh höhere Werte erwarten lassen. Man muß wohl schließen, daß so intensive Spuren auch bei geringerer Aktivität schon ausgebildet werden. Außerdem ist klar, daß ihre Ausbildung und Erhaltung auch von anderen Faktoren abhängen (vor allem Quellung/Schrumpfung und Verhalten bei Frost, die beide von Bodenart und Tonmineralart wesentlich beeinflußt werden). In PC muß die Nadeleinmischung und kann nach diesen Ergebnissen auch das Auftreten eines HAhh-Horizontes, das heißt die starke Vermischung von organischem Feinmaterial mit mineralischem Material, als Folge der Regenwurmaktivität aufgefaßt werden. Übrigens waren in PC im Gelände oft

recht zahlreiche Losungshäufchen von Regenwürmern an der Bodenoberfläche beobachtet worden; sie entsprachen in ihrer Zusammensetzung etwa dem HAhh-Horizont.

3.5 *Zellulosezersetzung*

Frage: In 3.2 waren Unterschiede in der Mineralisierung der organischen Substanz zwischen den Laubwaldflächen vermutet worden. Lassen sie sich mit diesem einfachen Test für zellulolytische und darüber hinaus allgemein mikrobielle Zersetzungsaktivität nachweisen?
Methode: Nach TESAROVA und UHLELOVA (1968); die 6 × 6 cm großen Filterpapierscheiben werden senkrecht ab Bodenoberfläche mit Hilfe von zwei Gipserspachteln in den Boden eingeführt.
Ergebnisse bringt Tab. 27.5.
Diskussion: Tatsächlich zeigen die fast immer höheren Zersetzungswerte in PB gegenüber PA den erwarteten Unterschied zugunsten von PB.

Tab. 27.5. Zellulosezersetzung nach TESAROVA und UHLELOVA (1968) in Tiefe 0 bis 6 cm; n = 12. Angaben in % Gewichtsverlust der Zellulosescheiben während der Inkubationszeit.

Tab. 27.5. Decomposition of cellulose according to TESAROVA and UHLELOVA (1968) at depth 0 to 6 cm; n = 12. Results in % weight loss of the cellulose sheets during incubation time.

Inkubations-zeit (1983)	PA			PB	
	x̄	s		x̄	s
11. 5.–8. 6.	11,0	6,7		10,3	3,8
8. 6.–7. 7.	8,5	4,2		12,7	6,3
7. 7.–11. 8.	2,0	1,0		2,4	0,8
11. 8.–8. 9.	3,9	2,0	*	8,4	2,9
8. 9.–7. 10.	4,2	2,6	*	6,4	2,5
7. 10.–4. 11.	7,1	4,2		9,1	3,7
Mittelwert	6,1			8,2	

* Differenz zwischen PA und PB an diesen beiden Terminen statistisch gesichert

3.6 *Bodentemperaturmessungen*

Frage: Lassen sich die in PB höher als in PA gefundenen Mineralisierungswerte mit höheren Bodentemperaturen in der schwach nach SO geneigten Fläche PF erklären?

Methode: Je Fläche wurden drei Maximum-Minimum-Thermometer in 3 bis 5 cm Tiefe unter Mineralbodenoberfläche gebracht und wöchentlich abgelesen.
Ergebnisse sind in Tab. 27.6 zusammengefaßt.

Tab. 27.6. Mittelwerte der wöchentlichen Temperaturmaxima t_{max} und maximalen Temperaturdifferenzen Δt in 3 bis 5 cm Tiefe unter Mineralbodenoberfläche; °C.

Tab. 27.6. Mean values of the weekly maxima of temperature t_{max} and maximal temperature differences Δt at 3 to 5 cm depth below surface of the mineral soil; °C.

	PA		PB		PC	
	t_{max}	Δt	t_{max}	Δt	t_{max}	Δt
9. 3.–11. 5. 82	8,6	4,3	9,4	6,0	5,8	2,6
11. 5.–10. 8. 82	15,1	3,7	16,1	4,8	14,6	3,7
4. 11.–9. 12. 83[1)]	9,3	10,8	10,3	9,8	9,6	13,1

[1)] nicht Mittelwerte aus wöchentlichen Daten, sondern nur eine Meßperiode

Diskussion: Alle Frühjahrs- und Sommerwerte sind in PB am höchsten. Nicht nur die Temperaturmaxima, auch die Temperaturschwankungen bedeuten dort, sonst gleiche Verhältnisse angenommen, die höchste Mikroorganismentätigkeit. Das Umgekehrte gilt für PC, wo überall die Werte am niedrigsten sind. Die Frühwinterwerte zeigen PB wieder als die wärmste Fläche, noch ohne Bodenfrost.

3.7 Chemische Analysen

Fragen: Von besonderem Interesse sind die Gehalte an organischem Kohlenstoff und die C/N-Verhältnisse im Vergleich der Flächen.
Methoden: pH mit Glaselektrode; C durch nasse Veraschung (Lichterfelde); N nach Kjeldahl; $P_{ges.}$ und $K_{ges.}$ nach Extraktion mit heißer zehnprozentiger Salzsäure.
Ergebnisse bringt Tab. 27.7.
Diskussion: Die hohen pH-Werte in den Laubwaldflächen stehen im Zusammenhang mit hohen Ca-Gehalten der Blätter, die in den Dünnschliffen als hohe Calciumoxalat-Gehalte besonders bei PB aufgefallen waren. Die C/N-Verhältnisse sind die einzigen Nährstoffwerte, die im ursächlichen Zusammenhang mit den Zersetzungsunterschieden gesehen werden können. Die C/N-Unterschiede in der frischen Streu Ln von PA und PB gehen zum Teil auf die Beimischung von Eiche zu Buche in PA zurück.

Tab. 27.7. Chemische Analysen an den drei Humusprofilen.

Tab. 27.7. Chemical analysis of the three humus profiles.

Fläche	Tiefe (mm)	Horizont	pH (H_2O)	C (%)	N (%)	C/N	$P_{ges.}$ (%)	$K_{ges.}$ (%)
PA	0-30	Ln		48,0	0,85	57		
	0-20[1]	Lnv		46,5	1,17	40		
	30-60	FAhh-Ahh	4,6	10,1	0,48	21	0,052	0,19
	70-100	AhBgv	4,5	1,4	0,08	18	0,026	0,21
PB	0-30	Ln		50,1	0,75	67		
	0-20[1]	Lnv		49,9	1,07	47		
	30-60	FAhh-Ah	5,7	6,4	0,25	26	0,046	0,14
	70-100	AhBgv	4,7	1,7	0,09	19	0,036	0,22
PC	30-60	HAhh-BvAh	3,9	15,2	0,52	29	0,044	0,12
	70-100	BvAh	4,1	1,7	0,06	28	0,015	0,14

[1] Proben von April 1981, die anderen von November 1981

4 Zusammenfassende Diskussion

In den Laubwaldprofilen PA und PB liegt die Streu im Mittel ein bis eineinhalb Jahre an der Bodenoberfläche (Abschnitt 3.1, Tab. 27.1). Vom nächsten Laubfall an wird sie von Regenwürmern in den Mineralboden eingemischt - in bedeutendem Umfang während des Winters. Die eingemischten Blattreste überdauern als große Stücke noch einige Monate im obersten Mineralbodenhorizont, der wegen dieser Streubeimengung FAhh zu nennen ist.

Der Humus im reinen Buchenwald PB unterscheidet sich in einigen Details vom Buchen-Eichen-Wald PA. Ein in cm-großen Flecken auftretender F-Horizont und geringere Mächtigkeit des FAhh (Abschnitt 2) zeigen an, daß die Einmischungstätigkeit der Regenwürmer schwächer ist. (Den Regenwürmern bleibt wegen stärkerer Weißfäule im L und Dipterenlarventätigkeit im F (Abschnitt 2) dann auch weniger an Blattmaterial einzumischen). Tatsächlich sind Regenwürmer wesentlich seltener (Tab. 27.4). Dies kann zum Teil auf den Bodentyp zurückgeführt (Pseudogley, siehe Beitrag 8, dieser Band), stärker aber wahrscheinlich mit der nährstoffärmeren Streu (Tab. 27.7) erklärt werden. Auch wird Regenwurmaktivität durch häufigere Trockenheit in den obersten Zentimetern des Bodens gehemmt. Diese wird aus geringerem Auftreten von Enchyträenlosungen und höherer Feinwurzeldichte erschlossen (siehe Abschnitt 2).

Enchyträen sind sehr feuchtigkeitsbedürftig. Daß Spuren ihrer Aktivität sich trotz geringerer Regenwurmaktivität schlechter halten sollten als die der Regenwürmer, ist nicht anzunehmen; eher sollten die nur 40 bis 100 µm großen Enchyträenlosungen gegenüber Beanspruchung durch Quellung/Schrumpfung und Frost haltbarer sein. Daß hohe Feinwurzeldichten in Oberflächennähe auf zeitweise Austrocknung hindeuten, wurde für Fichte von VAVOULIDOU (1983) nachgewiesen (vgl. auch Beitrag 25, dieser Band); für Buche sprechen Geländebeobachtungen dafür. Regenwürmer werden an PB aber auch benachteiligt, weil dort die Mineralisierung der organischen Substanz durch Mikroorganismen rascher abläuft, was im Zellulosezersetzungstest nachgewiesen wurde (Tab. 27.5), durch höhere Bodentemperatur bedingt oder mitbedingt ist (Tab. 27.6) und sich in niedrigeren Gehalten an organischem Kohlenstoff (Tab. 27.7) zeigt.

Die Humusform des Buchenwalds PB tendiert mit der erhöhten Mineralisierung etwas zu Weißfäulemull (TOUTAIN 1981), wie tatsächlich das häufigere Auftreten von gebleichten („weißfaulen") Blättern im L-Horizont zeigt. Dadurch sind die Bedingungen für die meisten Bodentiere graduell – wenn auch nicht grundsätzlich – verschlechtert, wie auch die zoologischen Untersuchungen von ZIMMERMANN (1983) und JENI (1983) zeigen. Die Humusform im Buchen-Eichen-Wald steht dem Wurmmull näher. Dort werden die in den Mineralboden eingemischten Blattreste nicht so rasch zur morphologischen Unkenntlichkeit abgebaut (Tab. 27.2), und es wird durch Humifizierung mehr organische Substanz (Tab. 27.7) konserviert.

Das Humusprofil im Fichtenwald PC zeigt etwas langsameres Verschwinden der Streu an der Bodenoberfläche – es dauert hier zwei bis drei Jahre. Die Nadeln werden in einen F-Horizont von Dipterenlarven und Regenwürmern zerkleinert und durch weitere Fraß- und Vermischungstätigkeit dieser Tiere, welche ihre Nahrung an der F-Horizontuntergrenze und an der Mineralbodenobergrenze aufnehmen, in einen HAhh-Horizont überführt. Das ist ein Horizont, der im Gelände nicht sicher als zur Humusauflage oder zum Mineralboden gehörig angesprochen werden kann (zur Grenzziehung siehe BABEL et al. 1980). Er entspricht etwa dem FAhh in den Laubwaldprofilen. In ihm spielen als Sekundärzersetzer Enchyträen eine beträchtliche Rolle.

Durch das Fehlen eines H und das Auftreten des HAhh ist das Humusprofil PC verschieden vom mullartigen Moder nach v. ZEZSCHWITZ (1976). Es ließe sich als eine zum Mull tendierende Ausbildung des „Wurmmoders" auffassen, welcher mit mächtigeren Humusauflagen und anscheinend sporadischem Auftreten des Regenwurms *Lumbricus rubellus* im Schönbuch öfters angetroffen wird. (Eine Bearbeitung dieser Humusform ist im Gange.)

5 Literaturverzeichnis

BABEL, U. (1971): Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern. Geoderma *5*:297-324.

BABEL, U. (1972): Moderprofile in Wäldern - Morphologie und Umsetzungsprozesse. Hohenheimer Arbeiten Bd. 60, 120 S., Ulmer, Stuttgart.

BABEL, U. (1975): Micromorphology of Soil Organic Matter, S. 369-473. In: GIESEKING, J. E. (Hrsg.), Soil Components, Vol. 1: Organic Components, Springer, New York etc.

BABEL, U. (1978): A graphical scheme for the demonstration of fabric levels in soil thin sections. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. *141*:499-501.

BABEL, U. und A. CHRISTMANN (1983): Vergleichende mikromorphometrische Untersuchungen der Humusprofile in 2 Buchenbeständen. Geoderma *31*:239-264.

BABEL, U.; K. KREUTZER; B. ULRICH; E. v. ZEZSCHWITZ; H. ZÖTTL (1980): Definitionen zur Humusmorphologie der Waldböden. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. *143*:564-568.

HELLER, H. (1971): Estimation of photosynthetically active leaf area in forests, S. 29-31. In: ELLENBERG, H. (Hrsg.), Integrated experimental ecology, 214 S., Springer, Berlin etc.

JENI, I. (1983): Vergleichende Untersuchung der Collembolengesellschaften an zwei verschiedenen Laubwaldstandorten des Schönbuchs. Diplomarbeit Fak. Biologie, 89 S., Univ. Tübingen.

RAW, F. (1957): Estimating earthworm population by using formalin. Nature (London) *184*:1661-1662.

TESAROVA, M. & B. UHLELOVA (1968): Abbau der Zellulose unter einigen Wiesengesellschaften. Mineralisation der Zellulose. Tagungsberichte 98, Deutsche Akad. Landw. Wiss. Berlin, S. 277-287.

TOUTAIN, F. (1981): Les humus forestiers. Rev. For. Franç. *33*:449-477.

VAVOULIDOU-THEODOROU, E. (1983): Feinwurzeldynamik und Humusdynamik im Humusprofil von wuchsgestörten Fichtenbeständen. Diss., 167 S., Hohenheim.

ZEZSCHWITZ, E. v. (1976): Ansprachemerkmale der terrestrischen Waldhumusformen des nordwestdeutschen Mittelgebirgsraumes. Geol. Jahrbuch (Hannover) F *3*:53-105.

ZIMMERMANN, C. (1983): Vergleich der Bodenfauna zweier Laubwaldstandorte im Schönbuch unter besonderer Berücksichtigung der Hornmilben (Oribatei), Diplomarbeit Fak. Biologie, 88 S., Univ. Tübingen.